



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión sistemática: Fitoestabilización de Cadmio para la
recuperación de suelo**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORAS:

Pancorbo Arias, Suzan Alina (ORCID: 0000-0003-4128-417X)

Ruiz Sandoval, Graciela Marjorie (ORCID: 0000-0001-7275-8097)

ASESOR:

Dr. Túlleme Chavesta, Miltón César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedicamos a nuestros padres, por habernos formado como la persona que somos en la actualidad, muchos de nuestros logros se los debemos a ustedes, que siempre nos apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para llegar a ser profesionales.

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de la carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad y a la Universidad César Vallejo por brindarnos oportunidades y enriquecernos en conocimientos a lo largo de nuestra formación profesional.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	12
III. METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño de investigación	22
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	22
3.3. Escenario de estudio	24
3.4. Participantes	24
3.5. Técnicas en instrumentos de recolección de datos	24
3.6. Procedimientos	25
3.7. Rigor científico	26
3.8. Método de análisis de información	26
3.9. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS	42

Índice de tablas

Tabla 1: Técnicas de fitorremediación.	18
Tabla 2: Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.	23
Tabla 3: Especies de plantas utilizadas en procesos de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos.	28
Tabla 4: Estudios realizados de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos.	30
Tabla 5: Enmiendas orgánicas empleadas para mejorar la inmovilización del cadmio en la fitoestabilización asistida para la recuperación de suelo.	37

Índice de figuras

Figura 1: Mecanismo de la fitoestabilización de suelos contaminados con metales.	20
Figura 2: Diagrama de procesos de selección de artículos científicos.	25
Figura 3: Factor Translocación de las especies fitoestabilizadoras.	33
Figura 4: Factor Bioconcentración de las especies fitoestabilizadoras.	34

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad analizar la técnica de fitoestabilización de Cadmio (Cd) para la recuperación de suelos, se utilizó como técnica de recolección de datos el análisis documental de 19 artículos científicos, de los cuales se identificó el tipo de plantas según la especie, utilizadas en los procesos de fitoestabilización. También se determinó el potencial fitoestabilizador de cada una de ellas a través de los factores biológicos como: el Factor Translocación (TF) y Factor Bioconcentración (BCF), finalmente, se describió las enmiendas incorporadas como una alternativa, para mejorar el proceso de fitoestabilización. Los resultados obtenidos durante el análisis muestran el uso de especies de plantas herbáceas y arbóreas, donde se determinó su potencial Fitoestabilizador mediante el TF, el cual fue menor que 1 ya que se obtuvieron valores de 0.03 a 0.659 mg/kg-1 de Cd lo que indica una eficiente translocación, impidiendo que los metales se trasladen de la raíz a la parte aérea. En cuanto al BCF, se encontró valores entre 0.23 y 418.2 mg/kg-1 de Cd acumulado en las raíces de las plantas. Asimismo, se aplican enmiendas orgánicas para mejorar la inmovilización, de igual manera incrementa el crecimiento de la biomasa de las raíces y la parte aérea de la planta tales como: Biocarbón de tallo de la especie *Vigna radiata* L. (Yuca), biocarbón de la especie *Oryza sativa* (paja de arroz), biocarbón de madera, biocarbón de la especie *Phyllostachys edulis* (bambú), biocarbón de estiércol de ganado, biocarbón de paja de la especie *Triticum* (trigo), estiércol de la especie *Bos taurus* (vaca), estiércol de la especie *Gallus gallus* (pollo) y estiércol de la especie *Sus scrofa* (cerdo).

PALABRAS CLAVE: fitoestabilización, factor translocación, factor bioconcentración, enmiendas orgánicas.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the Cadmium (Cd) phytostabilization technique for soil recovery, the documentary analysis of 19 scientific articles was used as a data collection technique, of which the type of plants was identified according to the species, used in phytostabilization processes. The phytostabilizing potential of each of them was also determined through biological factors such as: The Translocation Factor (TF) and Bioconcentration Factor (BCF), finally the amendments incorporated as an alternative were described to improve the phytostabilization process. The results obtained during the analysis show the use of herbaceous and arboreal plant species, where their phytostabilizing potential was determined by TF, which was less than 1 since values of 0.03 to 0.659 mg/kg⁻¹ of Cd lo were obtained. which indicates an efficient translocation, preventing metals from moving from the root to the aerial part. Regarding BCF, values between 0.23 and 418.2 mg/kg⁻¹ of Cd accumulated in the roots of the plants were found. Likewise, organic amendments are applied to improve immobilization, in the same way it increases the growth of the biomass of the roots and the aerial part of the plant such as: Biochar from the stem of the species *Vigna radiata* L. (yucca), biochar from the *Oryza sativa* species (rice straw), wood biochar, *Phyllostachys edulis* species biochar (bamboo), cattle manure biochar, *Triticum* species straw biochar (wheat), *Bos taurus* species manure (cow), Manure of the species *Gallus gallus* (chicken) and manure of the species *Sus scrofa* (pig).

KEY WORDS: phytostabilization, translocation factor, bioconcentration factor, organic amendments.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico aportó a la revolución industrial que se inició desde hace más de 200 años considerando a las industrias como signo de prosperidad hasta que se descubrieron los daños ocasionados al ecosistema, que influye en el aire, suelo, flora silvestre y el agua (Suárez y Molina, 2014, p. 357). Además, la contaminación de suelos por metales pesados viene hacer un problema que ha ido incrementando al transcurrir los años debido principalmente a las actividades antrópicas, entre las cuales se encuentra la minería (Covarrubias y Cabriaes, 2017, p. 8). De igual manera, lo señala Márquez et al., los metales pesados son productos ocasionados a partir de distintas actividades antropogénicas, que al pasar los años ha incrementado su uso y su acumulación, provocando distintos problemas en el ecosistema (2020, p. 171).

Los metales pesados, son considerados como contaminantes tóxicos en el medio ambiente, contiene efectos nocivos, en toda la cadena trófica, debido a su persistencia y toxicidad (Beltrán y Gómez, 2016, p. 172). Su presencia puede generar que el suelo pierda fertilidad para la producción de alimentos o diferentes productos a causa de la presencia de materiales peligrosos que resultan siendo un riesgo en la salud humana y el medio ambiente. De la misma manera, uno de los grandes retos con los que nos enfrentamos es el hecho de encontrar técnicas para recuperar los suelos contaminados con metales pesados con la intención de mejorar las condiciones del ambiente (Falcón, 2017, p. 14).

Dentro de los metales se encuentra el cadmio (Cd) el cual es un metal extremadamente tóxico que se encuentra comúnmente en el medioambiente como contaminantes de fuentes industriales y agrícolas, lo que presenta graves riesgos en la salud humana en todas partes del mundo (Liu et al., 2014, p. 1), causando efectos nocivos y problemas graves en la agricultura.

Las acciones por recuperar los suelos afectados por Cd tratan de buscar alternativas favorables para recuperar y restaurar los suelos contaminados (Márquez et al., 2020, p. 171). Una solución factible para este problema es el uso de plantas que crecen en suelos contaminados con Cd y absorben el metal pesado a través de sus raíces. Puesto que, la alta concentración de Cd en los cultivos puede

ingresar a la cadena alimentaria, afectando al ser humano y a los animales (Shanmugaraj, Malla y Ramalingam, 2019, p. 1).

Esta técnica puede ser favorable, siempre y cuando la planta acumule el metal en el sistema radicular, para ello es fundamental que no haya transporte del Cd de la raíz a los tejidos aéreos de la planta. Es aconsejable la complementación de enmiendas orgánicas para inmovilizar los elementos traza del suelo y que modifiquen el pH, de modo que favorezca la precipitación/inmovilización del elemento y así mismo que las especies usadas estén habituadas a las condiciones ambientales locales. (Domínguez, 2015, p. 1). Es por ello, que la técnica de Fitoestabilización permite inmovilizar y reducir el movimiento de los contaminantes para evitar la migración a las aguas subterráneas (Riffo, 2016, p. 1).

Referente al origen de la realidad problemática presentada se planteó en el presente estudio como objetivo general: Analizar la aplicación de la fitoestabilización de Cadmio para la recuperación del suelo.

Asimismo, se plantearon como objetivos específicos:

OE1: Identificar el tipo de plantas utilizadas en la fitoestabilización de cadmio para la recuperación del suelo.

OE2: Determinar el potencial fitoestabilizador de cadmio para la recuperación del suelo.

OE3: Describir las alternativas usadas en la fitoestabilización asistida de cadmio para la recuperación del suelo.

De acuerdo con el impacto generado por el cadmio en los suelos se plantea el siguiente problema: ¿De qué manera se analizará la aplicación de la fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelo?

Siendo los problemas específicos:

PE1: ¿Qué tipo de plantas se utilizan en la fitoestabilización de cadmio para la recuperación del suelo?

PE2: ¿De qué manera se determina el potencial fitoestabilizador de cadmio para la recuperación del suelo?

PE3: ¿Cuáles son las alternativas usadas en la fitoestabilización asistida de cadmio para la recuperación del suelo?

De acuerdo a la contaminación industrial, minera, agropecuaria, tecnológica y el uso excesivo de distintos químicos en el suelo, que se adhieren finalmente en los alimentos, animales, vegetales y ríos alterando la sostenibilidad de la cadena trófica, ocasionando riesgos latentes en la naturaleza y en la sociedad, de manera que perjudica seriamente a la salud humana y animal (Londono et al., 2016, p. 146).

La justificación del presente estudio se plantea a causa de los problemas ocasionados por las actividades mineras, siendo el principal origen de contaminación en todo el mundo. La diseminación y transporte de relaves causan la degradación ambiental masiva, la contaminación del agua y el suelo, pérdida de biodiversidad y riesgos en la salud de los seres humanos.

Dentro de los metales pesados, se sabe que el cadmio (Cd) es tóxico para organismos vivos como microbios, plantas y animales, incluidos los seres humanos (Rahim et al., 2014, p. 1). El uso intensivo de fertilizantes que contienen cadmio (Cd) y las explotaciones mineras han provocado concentraciones graduales de cadmio en el suelo ya que no puede degradarse microbianamente (Peng et al., 2018, p. 10).

Actualmente, los métodos de tratamiento convencionales para suelos contaminados con metales pesados incluyen en el lugar excavación y relleno sanitario, lavado de suelo, estabilización mediante métodos físicos y químicos (Saran et al., 2019, p. 2). Sin embargo, estos métodos tienen desventajas como los altos costos, requieren mucha mano de obra y causan cambios irreversibles en las propiedades del suelo y alteración de la microflora del suelo nativo. La preservación de estos suelos mediante la fitorremediación consiste en el uso de seres vegetales para la descontaminación, utilizando los sistemas radiculares de plantas (Fabelo, 2017, p. 55). Estas especies de plantas se han potencializado para mantener su crecimiento mientras acumulan los metales peligrosos. Por esa razón se propone la fitoestabilización como una estrategia adecuada para disminuir los riesgos ambientales e incorporar enmiendas adecuadas para la revegetación (Barbosa y Fernando, 2018, p. 147).

II. MARCO TEÓRICO

Diversos autores realizaron estudios sobre la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

Ogosi (2018) tiene como objetivo en su estudio determinar la eficiencia de la especie herbácea *Brassica Campstris L.* para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados, realizándose la prueba en tres lotes. Se tomó muestras 1.0 Kg en cada lote de suelo, para realizar la caracterización de análisis químico y fisicoquímica. Determinándose el Factor Translocación, siendo $TF < 1$ para el cobre y cromo en los lotes A, B y C, por ello se considera una planta acumuladora y tolerante al cromo, $TF < 1$ para As, Cd y Pb estableciéndose como Fitoestabilizador.

Forte y Mutiti (2017), realizaron la evaluación del potencial de hiperacumulación y fitorremediación del cobre (Cu) y el plomo (Pb) en la especie arbustiva *Hydrangea paniculata* y la especie herbácea *Helianthus annuus*. Las plantas se cultivaron durante 4 semanas y se regaron periódicamente con concentraciones elementales conocidas de nanopartículas de óxido de cobre, sulfato de cobre y nitrato de plomo. Tanto *H. annuus* como *H. paniculata* acumularon cantidades significativas de Cu y Pb para ser clasificadas como especies hiperacumuladoras. La capacidad de translocación de *H. paniculata* fue mucho menor para ambos metales en comparación con *H. annuus*.

Sylvain et al. (2016), su objetivo principal fue evaluar la capacidad de dos especies de arbustos del género Sauce (*Salix viminalis* y *Salix purpurea*), mediante la técnica de fitoestabilización, en tecnosoles (suelos de desechos mineros) de un antiguo sitio minero de oro que presenta contaminación polimetálica (As, Sb y Pb) mediante la creación de un ambiente natural (mesocosmo) de laboratorio. Después de los 45 días de crecimiento, se recolectaron hojas, tallos y raíces de ambas especies de sauces. Se determinó que las dos especies de *Salix* fueron capaces de desarrollar sistemas radiculares. As, Sb y Pb se almacenaron principalmente en la rizosfera de *Salix*. *S. purpurea* fue más eficiente acumulando As en las partes superiores de la planta. *S. viminalis* mostró una capacidad para transferir Pb y Sb a susbrotes.

Almagro et al. (2015), analizaron a cinco especies de plantas herbáceas de *Cistus*, si es altamente tolerante a la concentración de metales pesados en dos tipos de suelos contaminados de la Sierra Minera de La Unión. Se muestra como resultado que el suelo 1 presentó una elevada toxicidad para las especies de *Cistus*, por la cantidad alta de metales pesados y a su alta salinidad. El suelo 2 presentó niveles menores de metales pesados totales pero un pH más ácido y por tanto los elementos minerales estaban en formas más solubles y disponibles en el suelo. Esto muestra que algunas plantas *Cistus* pueden ser utilizados en la recuperación de suelos mineros mediante el proceso de fitoestabilización, ya que acumularon altos niveles de metales.

Pizarro et al. (2015), tienen como objetivo determinar y verificar las capacidades del proceso fitoestabilizador mediante especies nativas y exóticas en suelos extremadamente dañadas por las actividades mineras en la Región de Coquimbo. Se evaluó las tasas de desarrollo en supervivencia y crecimiento de 20 especies mediante dos experimentos. Se midió la cantidad de Cu en tallos y hojas. La especie arbustiva *Acacia saligna*, sobresalió siendo la mejor especie para la recuperación de suelos mediante el proceso de fitoestabilización en los relaves mineros de la Región de Coquimbo.

Pérez (2015), realizó un estudio sobre la acumulación de metales pesados (As, Cd, Zinc, Cu, Fe, Mn, Pb) en las especies vegetales nativas que prosperan en los relaves de la Minera Cercapuquio S.A. Se analizaron las especies herbáceas *Hypochoeris meyeniana* (Walp.) Griseb, *Paranephelium uniflorum* Poepp, *Senecio collinus* A. Nelson”, y *Astragalus garbancillo* Cav. La especie que presentó los mayores valores de acumulación para los seis metales fue *Hypochoeris meyeniana* (Walp.) Griseb, con 1774.33 ppm de Hierro; 900.89 ppm de Manganeso; 1497.76 ppm de Cinc; 6.11 ppm de Cobre; 1.11 ppm de Plomo; y 0.14 ppm de Cadmio.

Pavel et al. (2014), llevó a cabo un experimento de campo para evaluar los cambios en la distribución de Zn, Cd y Pb en varias fracciones del suelo, la movilidad de los metales pesados en el suelo y su absorción y efectos sobre el crecimiento y la productividad de la especie herbácea *Miscanthus sinensis* × *giganteus* . Se determinó la captación de Zn, Cd y Pb en diferentes tejidos de *M. sinensis* × *giganteus* cultivado en parcelas. Los factores de translocación fueron

menores que 1, lo que indico que la especie *M. sinensis* × *giganteus* es un excluyente de metales pesados, especialmente Pb.

El trabajo presentado por Calderón y Zamudio (2019), se basó en la fitoestabilización de Cromo Hexavalente de la especie arbórea *Acacia melanoxylon*; en concentración de cromo entre 10 mg/kg y 500 mg/kg. El resultado muestra que el Cr se almacena en la zona radical de la planta en un rango de 45.81 mg/kg y 1859 mg/kg. Encontrándose valores mayores a 1 en el factor de bioconcentración en la raíz (BCF) y valores menores a 1 en el factor de translocación (TF).

En su estudio experimental Munive et al. (2018), sostiene que al solubilizar los elementos contaminantes (Plomo y Cadmio) presentes en el suelo agrícolas del valle del Mantaro con enmiendas orgánicas como el compost y vermicompost de Stevia a fin que puedan ser extraídos por fitorremediadoras como el cultivo de maíz. Se trabajó con 3 tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico) y 3 repeticiones por cada localidad. Las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción, el vermicompost contribuye a que la planta de maíz presente mayor altura, peso de hojas, tallos y peso de raíces.

Jiang et al. (2019), estudio la especie arbórea Morera (*Morus alba* L.) mediante un experimento de tres años para evaluar los efectos de tres variedades de morera bajo tres densidades de siembra sobre la remoción de cadmio (Cd) y plomo (Pb). Las tres variedades de morera del Cd y Pb, tanto los factores de bioconcentración (BCF) como los factores de translocación (TF) fueron menos de 1, lo cual indica que las moreras pueden usarse como una planta alternativa para la fitoestabilización de metales pesados.

Zeng et al. (2018), realizaron un estudio para identificar el potencial de fitoestabilización de la especie arbórea *Platycladus orientalis* cultivado en suelo contaminado por cadmio (Cd) mediante un experimento de invernadero durante 203 días. Los resultados mostraron que la planta ornamental *P. orientalis* tenía una alta tolerancia al Cd en suelos contaminados en 24,6 mg/kg¹. La captación de Cd en *P. orientalis* raíces fue mayor que en brotes, con un contenido de Cd en raíces que alcanzó 41.45 mg kg⁻¹ en la especie *P. orientalis*, una planta ornamental, que

acumula Cd predominantemente en sus raíces, es una planta prometedora para la fitoestabilización en suelos contaminados con Cd.

Yang et al (2018), realizaron un experimento, cultivaron la especie arbórea *Koeleria paniculata* en solución nutritiva con diferentes concentraciones de Cd (0, 50, 150, 250 y 500 μM) y se tomaron muestras a los 90 días. Las respuestas de resistencia, translocación, acumulación. Los resultados mostraron que *Koeleria paniculata* es un excluidor de Cd eficiente que puede tolerar altas concentraciones de Cd (hasta 150–250 μM de Cd). Siendo los factores de bioconcentración y translocación menor a 1.

Golda y Korzeniowska (2016), estudio la tolerancia de las especies herbáceas de *Poa pratensis*, *Lolium perenne* y *Festuca rubra*, a la contaminación por cadmio y el potencial fitorremediador. El experimento de la olla se llevó a cabo en cuatro repeticiones en macetas que contienen 2,0 kg de suelo. El suelo fue contaminado con tres dosis de Cd - 30, 60 y 120 mg/kg^{-1} . Después de dos meses se evaluó el factor de bioacumulación (BF) y factor de translocación (TF). Las tres especies de gramíneas probadas tenían TF <1 y raíz BF > 1, lo cual indicó que el potencial de fitoestabilización de *P. pratensis* fue menor que el de *L. perenne* y *F. rubra*. *P. pratensis* se distinguió por una mayor TF, menor biomasa radicular y menor tolerancia al exceso de Cd en el suelo en comparación con los otros dos pastos de prueba.

En el estudio de Ashraf et al. (2018), se buscó determinar la tolerancia y potencial de Cd de las especies arbóreas *Conocarpus erectus* y *Eucalyptus camaldulensis*, se evaluó en una maceta durante 6 meses, en suelo contaminado con Cd (0, 5, 10 y 15 mg/kg^{-1}). Se determinó el factor bioconcentración (BCF) y el factor de translocación (TF). Las concentraciones de Cd y la absorción de Cd fueron mayores en *C. erectus* que en *E. camaldulensis*. El TF fue menor que uno para ambas plantas especie, mientras que BCF fue más de uno. Se concluye que, debido a una tolerancia al Cd relativamente mayor y una mayor capacidad para retener mayor concentración de Cd en las raíces, *C. erectus* es una mejor especie que *E. camaldulensis* para la fitoestabilización de Cd suelos contaminados.

El artículo presentado por Saran et al. (2019), refiere a las posibilidades de utilizar la especie herbácea *Helianthus petiolaris* Nutt., como una planta pionera en fitoestabilizar áreas contaminadas por metales pesados. Las Plántulas fueron trasplantadas en suelos enriquecidos con 0, 10, 50 y 100 mg/kg de Cd y 0, 100, 500 y 1000 mg/kg de Pb. Se obtuvo como resultado que la *H. petiolaris* puede crecer en suelos que contienen 1000 mg/kg de Pb y 50 mg/kg de Cd.

Según Zeng et al. (2017), refiere a la caracterización de los efectos del Cd en el crecimiento de cinco plantas ornamentales (*Osmanthus fragrans*, *Ligustrum vicaryi* L., *Cinnamomum camphora*, *Loropetalum chinense* var. *rubrum*, y *Euonymus japonicus* CV. *Aureo-mar*). El Cd se depositó principalmente en las raíces de OF, LV, LC y EJ que han crecido en suelos contaminados con Cd, y el contenido máximo de Cd alcanzó 15.76, 19.09, 20.59 y 32.91 mg/Kg⁻¹, respectivamente por *C. camphora*. El Cd se distribuyó principalmente en los brotes y el contenido máximo de Cd en tallos y hojas fue de 12,5 y 10,71 mg/kg⁻¹.

El artículo presentado por Rahim et al. (2014) se realizó con el objetivo de evaluar el potencial de la especie herbácea *Solanum nigrum* para la absorción, tolerancia y acumulación de Cd, enriquecido con diferentes concentraciones de Cd (0, 10, 30, 50 y 80 mg/kg⁻¹ de arena seca). Los resultados mostraron un significativo ($p < 0.05$) reducción en biomasa. La cantidad de Cd acumulado por las plantas en las hojas, tallos y raíces fue de 307, 1536 y 3163 mg/kg⁻¹ de materia seca, respectivamente, cuando se trata con Cd 80 mg/kg⁻¹. El factor de translocación (TF) disminuyó con concentraciones más altas de Cd, mientras que el factor de bioconcentración (BCF) aumentó con niveles elevados de Cd.

Según Meeinkuirta et al. (2016), el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de las enmiendas orgánicas (estiércol de vaca, estiércol de cerdo y fertilizante orgánico) en la fitoestabilización de suelos contaminados con Cd por la especie arbórea *Eucalyptus camaldulensis* a través de experimentos de invernadero y de campo. Las plantas cultivadas en suelos modificados tuvieron una menor acumulación de Cd que las cultivadas en suelos con Cd solo. Se obtuvo como resultado el factor de translocación < 1 y el factor de bioconcentración para la raíz (BCF) > 1 , lo que indica el potencial de esta especie para estabilizar el Cd en las raíces.

Todo metal pesado se origina de forma natural en el ámbito del suelo, ocasionado por los procesos pedogenéticos de meteorización de los materiales parentales en los niveles que se consideran traza y rara vez es tóxico. La mayor parte de los suelos de contexto rural y urbano, almacenan uno o más metales pesados, superando los valores del umbral, con concentraciones altamente tóxicas que pueden originar riesgos en la salud humana, animales, plantas, ecosistemas, entre otros (Martínez y Vargas, 2017, p. 6).

El Cadmio (Cd), un componente químico relativamente raro, ubicado en el grupo IIB de la tabla periódica, número atómico 48. Con características de metal puro es blando, dúctil y maleable, de color plateado claro, es por ello que se considera altamente tóxico asociado a la contaminación ambiental e industrial (Hernández, 2014, p. 12). Ya que es capaz de transferirse y almacenarse en las partes comestibles de la planta, originando la pérdida en la productividad de las cosechas y una variedad de efectos tóxicos. Las altas concentraciones de Cd en las plantas alteran su morfología, fisiología y bioquímica, tales como inhibición del crecimiento, déficit hídrico, inhibición de la fotosíntesis y la germinación, estrés oxidativo, entre otros resultados que traen como consecuencia pérdidas económicas (Pernía, 2016, p. 38).

Asimismo, el Cd que ingresa al organismo ocasiona daños irreversibles a la salud, aún en concentraciones reducidas (Reyes et al., 2016, p. 68). La ingestión de Cadmio trae como consecuencia daños para salud, los efectos tóxicos del cadmio muestran evidencias de afección principalmente en los pulmones, los huesos y los riñones. Los daños que causan en estos órganos es la osteomalacia y necrosis del tejido renal, ya que, puede permanecer dentro del organismo del ser humano durante 10 a 30 años, así mismo puede ocasionar problemas gastrointestinales, diarrea, dolor abdominal y muscular y salivación. (Pérez y Azcona, 2012, p.203).

La fitorremediación, es un avance tecnológico mediante el uso de plantas para remediar o restaurar ambientes contaminados (agua y suelo), teniendo ventajas únicas en la recuperación de suelos. Se han identificado una variedad de especies, que se emplean para este fin. (Jesús et al., 2015, p. 6511). Por ello, en los últimos años la fitorremediación ha sido altamente recomendada para la recuperación de suelos contaminados con metales, siendo la planta capaz de disminuir la toxicidad

del metal a través de su propio sistema de resistencia. Uno de los beneficios es el fácil acceso, por su bajo costo siendo una tecnología muy usada para descontaminar el suelo (Ma et al., 2016, p. 1).

A continuación, tenemos la clasificación de las técnicas de fitorremediación:

Tabla 1: Técnicas de fitorremediación.

Técnica	Mecanismo
Fitoextracción	Las plantas concentran los metales en las raíces y la biomasa, siendo capaz de fitoacumular nutrientes y metales pesados (Ma et al., 2016, p.1).
Rizofiltración	A través de las raíces de las plantas, absorben, precipitan y concentran metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados (Tiwari et al., 2019, p. 180).
Fitoestabilización	Implica el uso de plantas tolerantes a los metales pesados, inmovilizando los contaminantes en suelo subterráneo a través de la absorción y la acumulación por las raíces (Radziemska, 2018, p.123).
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados en un proceso de difusión en el que los compuestos orgánicos volátiles (COV) son absorbidos por las plantas y se liberan a la atmósfera (Arya et al., 2017, p.26).
Fitodegradación	Se utiliza plantas acuáticas y terrestres en un proceso en el que las plantas degradan compuestos orgánicos, absorbiéndolos y metabolizándolos (AbdulwahabAl et al., 2015, p. 463).
Fitoestimulación	Mediante las raíces de las plantas estimulan, que los microorganismos (bacterias y hongos) presentes en la zona de la rizósfera se degraden (Hossain, Sultana y Islam, 2017, p. 137).

Asimismo, para definir una especie de planta fitorremediadora, debe contar con los siguientes parámetros: el Factor de Translocación (FT) y el Factor de Bioconcentración (BCF) (González-Chávez et al., 2017, p. 5), para la revegetación

de suelos contaminados (fitoestabilización). Los factores biológicos, indican si las especies de plantas son tolerantes, exclusoras o acumuladoras (Mendieta y Taisigüe, 2014, p. 4).

El Factor de Translocación (TF) se definió como la relación entre la concentración de metal en los tallos y la de las raíces, y se utilizó para medir la capacidad de las plantas para translocar el Cd de las raíces a los brotes (Rahim et al., 2014, p. 3). Se calculan dividiendo la concentración en el órgano de interés (tallo, hojas, flores, semillas o frutos) entre la concentración en la raíz (Mendieta y Taisigüe, 2014, p. 4).

$$TF = \frac{[\text{metales en la parte aérea}]}{[\text{metales en las raíces}]}$$

- Un valor del TF menor a 1, significa que la translocación del metal es baja, por lo que está retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización (Falcón, 2017, p. 18). Ya que la planta no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea, por esta razón, cuenta con un gran potencial fitoestabilizador.

El Factor de Bioconcentración (BCF) se define como la relación entre la concentración de metales pesados en los tejidos vegetales y la concentración de metales pesados en el suelo y representa la concentración relativa del metal pesado en la planta en comparación con la del suelo (Rahim, et al., 2014, p. 3). Se calcula dividiendo la concentración de las raíces de las plantas entre la concentración de metal en el suelo (Ashraf et.al., 2018, p. 523).

$$BCF = \frac{[\text{metales en raíces}]}{[\text{metales en el suelo}]}$$

- Si el BCF raíz < 1 la planta es excluyente
- Si el BCF raíz > 1 la planta es acumuladora
- Si el BCF raíz > 10 la planta es hiperacumuladora

A continuación, se describe la técnica de fitoestabilización de suelos contaminados con Cadmio.

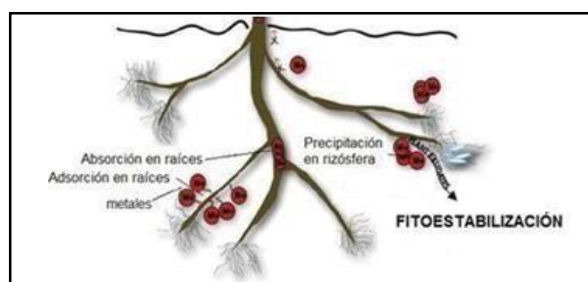
La fitoestabilización de los contaminantes en el suelo consiste en el establecimiento de una cubierta vegetal autosustentable, a través de su absorción y acumulación en las raíces de las plantas utilizadas o por precipitación en la zona de la rizósfera (Zornoza et al. 2017, p. 422). La estabilización de metales pesados en los suelos contaminados, mediante el uso de plantas, muestra características de un proceso lento, no observable a escala visible por la población local en un periodo de tiempo muy corto (Martínez, 2014, p. 1).

Los contaminantes deben residir dentro o a exteriores de las raíces, en la rizosfera. De manera que los contaminantes presentes en el suelo son muy cargados, estas plantas serán capaces de sostener bajas concentraciones de estos, en su biomasa aérea, evitando así su dispersión de toxicidad para los animales con efectos nocivos para el ser humano (Kidd et al., 2009) (González, 2016, p. 48).

La selección de especies de plantas es el primer paso a realizar en el proceso de fitoestabilización, habitualmente se hace uso de especies que almacenan pocos contaminantes. Acorde las plantas van creciendo, cambian y estabilizan el suelo, impidiendo la movilización de los contaminantes presentes en el suelo a otros medios como el agua y aire, siendo un efecto perjudicial al medio ambiente

La técnica de fitoestabilización, se aplica a grandes extensiones de terreno en suelos donde existe contaminación superficial, una de las ventajas de este, a diferencia de otros métodos en recuperación de suelos, se aplica de manera rápida, fácil y con un bajo costo económico (Medina y Montano, 2014, p.21).

Figura 1: Mecanismo de la fitoestabilización de suelos contaminados con metales.



Fuente: Martín, 2015

Una alta concentración de Cd en el suelo altera significativamente la fisiología de las plantas que finalmente inhiben en el crecimiento y de alguna manera afecta la productividad de las plantas (Deivanai y Thulasyammal, 2014, p. 3). La disminución de las tasas fotosintéticas, la degradación del cloroplasto, el retraso en el crecimiento, la clorosis y necrosis de las hojas, la inhibición de la función de las proteínas y enzimas, el deterioro del metabolismo del azúcar, la inducción de estrés oxidativo y el cambio en la composición de los lípidos se encuentra entre los efectos tóxicos del Cd en plantas (Azizollahi, Majid y Akbar, 2019, p. 2).

En cuanto a la morfología, es muy común la reducción del crecimiento de las plantas debido a la toxicidad del Cd es una consecuencia directa de la inhibición en la fotosíntesis, la respiración, la absorción de agua y nutrientes (Deivanai y Thulasyammal, 2014, p. 3).

Finalmente, se presenta la fitoestabilización asistida a través del uso de enmiendas orgánicas para mejorar la inmovilización del Cd en las raíces en suelos contaminados. Las enmiendas orgánicas son material de origen animal y vegetal, como el compost, los abonos animales, desechos orgánicos, biofertilizantes residuos de cultivos o acondicionadores sintéticos del suelo que se incorporan al suelo para mejorar el crecimiento de la planta (Hueso-González et al., 2018, p. 7).

El uso de enmiendas orgánicas forma parte del procedimiento que se aplica en el sistema de cultivos, con la finalidad de mejorar las características fisicoquímicas y biológicas del terreno a usar, como también aporta nutrientes (Sperberg y Hirzel, 2016, p.7), lo cual contribuye potencialmente en la fertilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos (Vásquez et al. 2020, p. 2).

III. MÉTODO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación básica, se caracteriza porque el indagador busca descubrir y entender un proceso o un fenómeno, estos datos se logran obtener a través de entrevistas, observaciones, o estudios de documentos y como desenlace muestra una mezcla de descripción y análisis (Canedo, 2009, p. 108).

Esta se basa primordialmente en el descubrimiento tecnológico de la investigación básica, establecido mediante el desarrollo de enlace entre la teoría y el producto (Lozada, 2014, p. 34), además, es la ciencia que indaga el conocimiento de los fenómenos, su descripción, explicación y predicción (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018, p. 28).

La presente investigación es básica, porque muestra una percepción sobre los pasos a seguir en el desarrollo de la investigación teórica, conservando los datos y resultados originales que se han obtenido en los procesos de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos y el uso de enmiendas orgánicas como alternativa para la mejora del desarrollo de las plantas.

La investigación consiste en el diseño cualitativo, en el estudio de un ensayo teórico (Pérez, 2018, p. 1). Ya que, se tomó referencias teóricas de distintos autores alineados al tema de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos. Mediante ello se realizó un análisis con los datos y resultados de investigaciones experimentales, ante ello, se llega a una conclusión general.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Estas categorías y sus respectivas subcategorías son apriorísticas, es decir, construidas antes del proceso recopilatorio de la información (Herrera, Guevara y Munster, 2015, p. 6), que surgen en función de los problemas seguido de los objetivos de la investigación. Para ello, se distingue entre categorías y las subcategorías que detallan la matriz de caracterización apriorística en la investigación cualitativa.

Tabla 2: Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad
OE1: Identificar el tipo de plantas utilizadas en la fitoestabilización de cadmio para la recuperación del suelo.	PE1: ¿Qué tipo de plantas se utilizan en la fitoestabilización de cadmio para la recuperación del suelo	Especies de plantas	Herbáceas	<ul style="list-style-type: none"> - Deivanai y Thulasyammal (2014) - Rahim et.al (2014) - Guo et al. (2014) - Meeinkuirt et.al, (2016) - Gołda y Korzeniowska (2016) - Yang et al. (2018) - Ashraf et al. (2018) - Zeng et al. (2018) - Azizollahi, Majid y Akbar (2019) - Li y Yang (2020)
			Arbóreas	
OE2: Determinar el potencial fitoestabilizador de cadmio para la recuperación del suelo.	PE2: ¿De qué manera se determina el potencial Fitoestabilizador de cadmio para la recuperación del suelo?	Factores biológicos	Factor de Translocación	<ul style="list-style-type: none"> - Deivanai y Thulasyammal (2014) - Rahim et al. (2014) - Guo et al. (2014) - Meeinkuirt et.al, (2016) - Gołda y Korzeniowska (2016) - Yang et al. (2018) - Ashraf et al. (2018) - Zeng et al., (2018) - Azizollahi, Majid y Akbar (2019) - Li y Yang (2020)
			Factor de Bioconcentración	
OE3: Describir las alternativas usadas en la fitoestabilización asistida de Cadmio para la recuperación del suelo.	PE3: ¿Cuáles son las alternativas usadas en la fitoestabilización asistida de cadmio para la recuperación del suelo?	Enmiendas	Enmiendas orgánicas	<ul style="list-style-type: none"> - Prapagdee et.al. (2014) - Hua et.al. (2016) - Karin et al. (2017) - Ali et al. (2017) - Mamdouh (2018) - Liu et al. (2018) - Ali et al. (2019) - Huang et al. (2019) - Thongchai et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

La investigación cualitativa, está basada en fundamentos teóricos, para la cual se dará uso de todas las referencias de fuentes obtenidas de autores con trabajos de investigación experimental (Alan y Cortez, 2018, p .75).

El escenario de estudio se basa en una revisión sistemática de la técnica de fitoestabilización de Cadmio para la recuperación del suelo, de acuerdo con la realidad de enfoques con diferentes investigadores, ya que, la contaminación de suelos por metales afecta negativamente en los cultivos u otros usos del suelo, mediante la fitoestabilización de cadmio se inmoviliza el metal, así se evita su expansión en los suelos. De igual manera, se brinda alternativas que ayudan a mejorar la inmovilización del Cd, a través del uso de enmiendas orgánicas que benefician el desarrollo de la planta.

3.4. Participantes

Los participantes de la investigación están conformados por artículos de revistas indexadas a nivel nacional e internacional los cuales fueron extraídas de las bases de datos como: ScienceDirect, Scielo, Springer, Google Académico, los mismos que fueron utilizados en la presente investigación de revisión sistemática.

3.5. Técnicas en instrumentos de recolección de datos

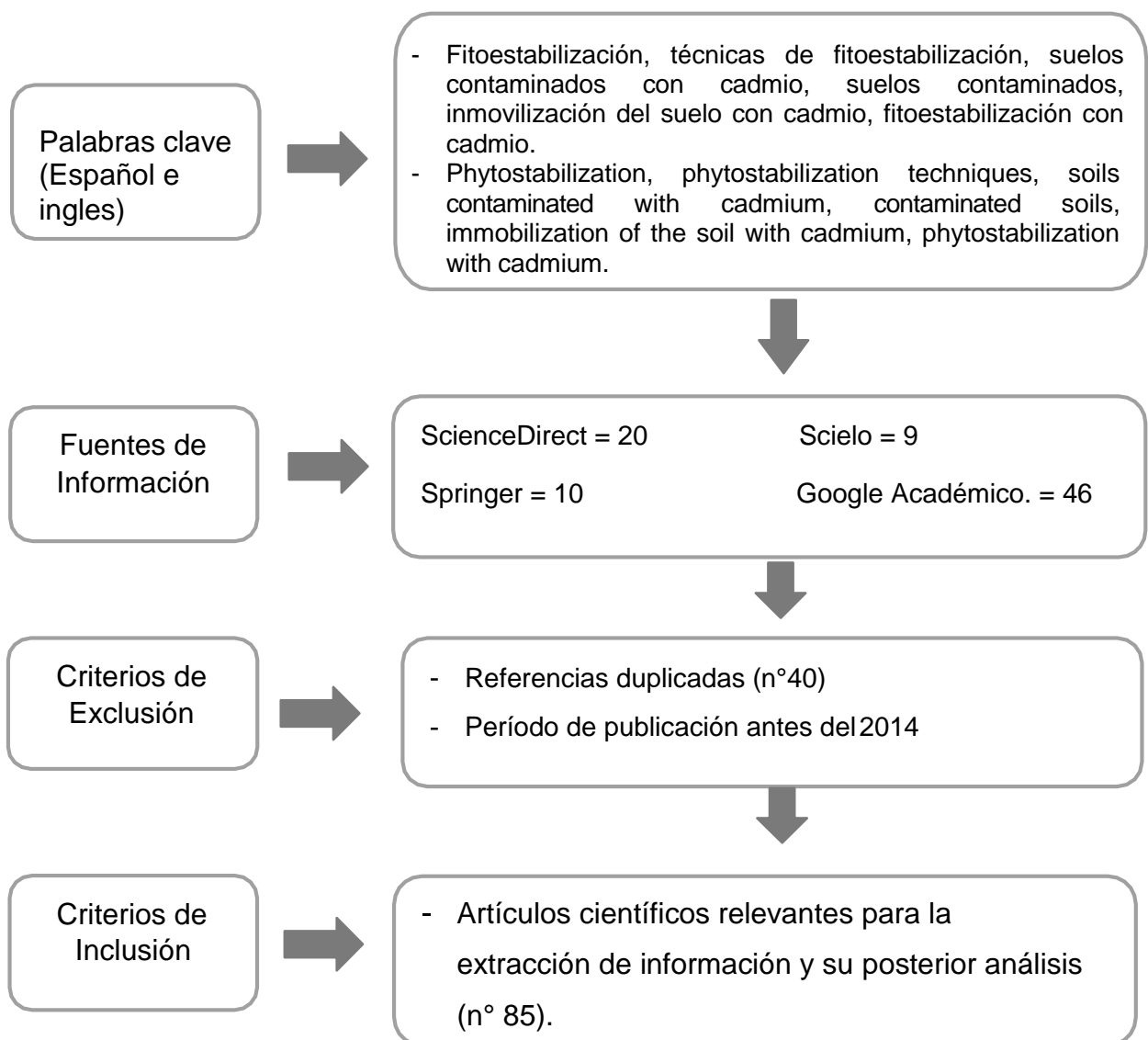
La técnica de recolección de datos se basa en el análisis documental, que se lleva acabo de muestras no probabilística, mediante la recolección de documentos públicos tales como actas, boletines, normas, balances, informes de auditoría, publicaciones de las organizaciones, etc. Todo lo mencionado son fuentes de gran valor que pueden convertirse en datos importantes respecto a procesos organizacionales complejos y de la posición de los diversos actores involucrados en ellos (Fassio, 2018, p. 79).

Las fichas bibliográficas de los artículos científicos serán anexadas según el manual de estilo ISO 690: Autor, titulo de investigación, año, volumen, numero, página de donde se obtuvo el documento.

3.6. Procedimientos

El procedimiento seguido se resume a continuación en el diagrama, se detalla el proceso que se realizó para la obtención de los artículos científicos relacionados al tema investigado. Empezando con la selección de las palabras claves (inglés, y español) para la búsqueda, obteniendo una variedad de artículos científicos, luego se procedió a aplicar los criterios de inclusión y los criterios de exclusión, por duplicidad de las publicaciones y el periodo de antigüedad.

Figura 2: Diagrama de procesos de selección de artículos científicos.



3.7. Rigor científico

Se define como el rigor intelectual aplicado en la verificación de la calidad de la información científica o su validación por el método científico, entre los cuales se encuentran:

Dependencia o consistencia lógica, es la categoría donde cada investigador recolecte referencias o datos semejantes en el campo y efectúen los mismos análisis generando resultados equivalentes (Rojas y Osorio, 2019, p. 66). Por ello, en esta investigación se tomó la información y resultados de fuentes confiables, los resultados experimentales de diversos autores que determinan el potencial de la técnica de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos mediante los factores biológicos. También, se identificará las alternativas usadas en la fitoestabilización asistida.

Credibilidad, consiste en establecer la confianza de verdad para los sujetos y el contexto de la investigación (Valera y Vives, 2016, p. 194). En la presente investigación en todo momento se mantuvo la información real de los artículos seleccionados, sin cambiar los datos o información recaudada de los mismos.

Transferencia se refiere a la responsabilidad del investigador de proporcionar suficiente información sobre el trabajo de campo (Guba y Lincoln, 2012, p. 3). Por ello, en la investigación se realizó un registro de los criterios de análisis, el cual quedará como evidencia de los pasos seguidos durante la elaboración de la investigación.

3.8. Método de análisis de información

El análisis de datos cualitativos es el conjunto de operaciones empíricas y conceptuales mediante las cuales se construyen y procesan los datos con el fin de ser interpretados (Marín, Hernández y Flores, 2018, p. 1). Para realizar el análisis cualitativo se aportan las siguientes recomendaciones: focalizar el objeto de estudio, ampliar y modificar el plan de recolección de información, leer repetidamente la información recolectada y revisar literatura sobre el objeto de estudio. La operación analítica descriptiva más comúnmente usadas para el análisis cualitativo son: la categorización, la cual, se explicó anteriormente en la Tabla 2.

3.9. Aspectos éticos

En la presente investigación se garantiza la calidad de ética considerando como aspectos éticos, la autoría de las fuentes de información lo cual se evidencia en las citas referenciadas, según lo estipulado en el manual de estilo ISO 690 y el cumplimiento del código de Ética de Investigación de la Universidad CésarVallejo.

A través del cumplimiento de la investigación, lo que representa el valor social y científico que se plantea para obtener mejores condiciones de vida y en bienestar de la población (González, 2002, p. 2). Es por ello que, la presente investigación busca identificar el potencial de la técnica de fitoestabilización de Cadmio para la recuperación de suelos, mediante los factores biológicos. De igual manera, identificar las enmiendas orgánicas utilizadas como alternativa en la fitoestabilización asistida.

Asimismo, la evaluación independiente donde se determina que la información recolectada de los diferentes artículos científicos sea verídica y también los resultados obtenidos para su posterior aprobación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el análisis de estudios de fitoestabilización, para la recuperación de suelos con cadmio, de los cuales se identificó el tipo de planta según las especies que han sido utilizadas en el proceso de fitoestabilización con el objetivo de inmovilizar el contaminante en el suelo a través de su absorción en las raíces.

Tabla 3: Especies de plantas utilizadas en procesos de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos.

TIPO DE PLANTA	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	ELEMENTO	REFERENCIA
Herbácea	<i>Fabaceae</i>	<i>Vigna</i>	<i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>Sesquipedalis</i>	Judía de metro	Cd	Deivanai y Thulasyammal (2014)
	<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum</i>	<i>Solanum nigrum</i> L.	Hierba mora	Cd	Rahim et.al (2014)
	<i>Poaceae</i>	<i>Agropyron</i>	<i>Agropyron cristatum</i>	Grano de trigo	Cd	Guo et al., (2014)
	<i>Lamiaceae</i>	<i>Satureja</i>	<i>Satureja hortensis</i> L.	Ajedrea de jardín	Cd	Azizollahi, Majid y Akbar (2019)
	<i>Poaceae</i>	<i>Poa</i>	<i>Poa pratensis</i>	Espigilla	Cd	Gołda y Korzeniowska, (2016)
	<i>Poaceae</i>	<i>Lolium</i>	<i>Lolium perenne</i>	Vallica	Cd	Gołda y Korzeniowska, (2016)
	<i>Poaceae</i>	<i>Festuca</i>	<i>Festuca rubra</i>	Festuca roja	Cd	Gołda y Korzeniowska, (2016)
	<i>Asparagaceae</i>	<i>Sansevieria</i>	<i>Sansevieria trifasciata hahnii</i> saplateado	Hahnii	Cd	Li y Yang, (2020)
	<i>Asparagaceae</i>	<i>Sansevieria</i>	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Dracaena trifasciata	Cd	Li y Yang, (2020)
	<i>Asparagaceae</i>	<i>Sansevieria</i>	<i>Sansevieria trifasciata laurentii</i>	Sansevera	Cd	Li y Yang (2020)
Arbórea	<i>Solanaceae</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto rojo	Cd	Meeinkuirt et.al, (2016)
	<i>Sapindaceae</i>	<i>Koelreuteria</i>	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Jabonero de la China	Cd	Yang et al., (2018)
	<i>Combretaceae</i>	<i>Conocarpus</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle botoncillo	Cd	Ashraf et al. (2018)
	<i>Cupressaceae</i>	<i>Platycladus</i>	<i>Platycladus orientalis</i>	Árbol de la vida	Cd	Zeng et al., (2018)

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 3 se encuentra el tipo de planta, familia, género, especie y nombre común que muestran respuestas y mejoras en la fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos.

Se identificaron las especies utilizadas en el proceso de fitoestabilización de Cadmio para la recuperación del suelo, con el fin de inmovilizar el metal en las raíces, se utilizaron las especies herbáceas: *Vigna unguiculata subsp. Sesquipedalis* (Deivanai y Thulasayammal, 2014), *Solanum nigrum* L. (Rahim et al., 2014), *Agropyron cristatum* (Guo et al., 2014), *Satureja hortensis* L. (Azizollahi, Majid y Akbar, 2019), *Poa pratensis*, *Lolium perenne* y *Festuca rubra* (Gołda y Korzeniowska, 2016), *Sansevieria trifasciata hahnii* saplateado (Li y Yang, 2020), *Sansevieria trifasciata* (Li y Yang, 2020) y *Sansevieria trifasciata laurentii* (Li y Yang, 2020). De igual manera las especies arbóreas: *Eucalyptus camaldulensis* (Meeinkuirt et al., 2016), *Koelreuteria paniculata* (Yang et al, 2018), *Conocarpus erectus* (Ashraf et al., 2018) y *Platycladus orientalis* (Zeng et al., 2018). Puesto que estas especies cuentan con las características que deben presentar las plantas a emplear, con fines de fitoestabilización como son: el desarrollo de su sistema radicular extenso, proveer de una buena cobertura vegetal en el suelo, ser tolerante a los metales presentes y finalmente tener la capacidad de inmovilizar los contaminantes en la rizósfera como lo indica (Muñoz et al., 2010, p. 5). Es así como Pérez-Portuondo et al., señala que existen plantas herbáceas que toleran compuestos y elementos tóxicos e incluso los degradan o acumulan en su interior, lo cual constituye otro aspecto de gran valor a favor de estas plantas (2019, p. 11).

Asimismo Ashraf et al. (2018, p. 522) sustenta que el uso de distintas especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por metales, se estiman como plantas beneficiosas, ya que, cuentan con un sistema de raíces profundas y una alta productividad de biomasa, capaces de remediar suelos de calidad marginal que tienen baja fertilidad y estructura deficiente.

- Se revisaron estudios experimentales del proceso de fitoestabilización de Cadmio para la recuperación del suelo, de la cual se obtuvo resultados como se muestra en la tabla. Mediante los factores biológicos tales como: Factor Translocación (FT) y Factor Bioconcentración (BCF), se determinó su potencial fitoestabilizador de cada especie.

Tabla 4: Estudios realizados de fitoestabilización de cadmio para la recuperación de suelos.

ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	PAÍS	AÑO	ESPECIE	CONDICIÓN DEL ESTUDIO	TIEMPO	FACTORES BIOLÓGICOS	RESULTADO	REFERENCIA
Fitoestabilización y respuestas fisicoquímicas del ecotipo coreano <i>Solanum nigrum</i> L. a la contaminación por cadmio.	China	2014	<i>Solanum nigrum</i> L.	El experimento de cultivo en maceta, se aplicaron cinco tratamientos diferentes a la arena, agregando concentraciones diferentes de Cd (0, 10, 30, 50 y 80 mg/kg ⁻¹) en arena seca.	2 Semanas	80 mg/Kg ⁻¹ BCF=1883 TF=0.58	El factor de translocación (TF) disminuyó con concentraciones más altas de Cd, mientras que el factor de bioconcentración (BCF) aumentó con elevación de niveles de cd. Por ello se determinó que la concentración de 80 mg/kg es la más adecuada.	Rahim et al. (2014)
Influencia de las enmiendas orgánicas en la fitoestabilización de suelos contaminados con Cd por <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	Tailandia	2016	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	El experimento se realizó en suelo contaminado con Cd en una concentración de 19.6 mg/kg, como también se realizó el proceso con agregados de enmiendas orgánicas.	9 meses	19.6 mg/kg BCF=3.8 TF=0.5	La especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> cultivada en suelos con concentración 19.6 mg/kg de Cadmio solo, obtuvieron una mayor acumulación.	Meeinkuirt et al. (2016)
Efecto del Cd sobre el crecimiento, la respuesta fisiológica, la distribución subcelular del Cd y las formas químicas de <i>Koeleria paniculata</i> .	China	2018	<i>Koeleria paniculata</i>	El experimento se realizó en olla con diferentes soluciones de Cd en (0, 50, 150, 250, 500 µM).	90 Días	150 µM BCF=0,135 mg/kg ⁻¹ TF=0.659 mg/kg ⁻¹	Los resultados mostraron que la especie <i>Koeleria paniculata</i> puede tolerar hasta 150 µM de Cd añadido, sin cambios obvios en parámetro de crecimiento.	Yang et al. (2018)

ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	PAÍS	AÑO	ESPECIE	CONDICIÓN DEL ESTUDIO	TIEMPO	FACTORES BIOLÓGICOS	RESULTADO	REFERENCIA
Tolerancia comparativa y potencial de fitoestabilización de <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Eucalyptus camaldulensis</i> cultivados en suelo contaminado con cadmio	Alemania	2018	<i>Conocarpus erectus</i>	El experimento se realizó en macetas de siete kg por cada una con suelo contaminado con Cd (0, 5, 10 y 15 μM).	6 meses	10 μM TF=0,48 mg/kg ⁻¹ BCF=1.56 mg/kg ⁻¹	Debido a una mayor tolerancia de Cadmio en las raíces, se determinó que la especie <i>C. erectus</i> es mejor para procesos de fitoestabilización en una concentración de 10 μM , debido a que no afecta el crecimiento de la planta.	Ashraf et al. (2018)
Respuesta al cadmio y la fitoestabilización potencial de <i>Platycladus orientalis</i> en contaminadas suelo	China	2018	<i>Platycladus orientalis</i>	El experimento se realizó en macetas con concentraciones de cadmio en el suelo (3.6 , 9.6, 24.6 mg/kg ⁻¹).	203 días	9.6 mg/kg ⁻¹ TF=0.13 BCF=0.23	Los resultados mostraron que el Cd en concentraciones de 9.6 mg/kg ⁻¹ , no afectó el crecimiento de la especie <i>P. orientalis</i> .	Zeng et al., (2018)
Comparación del potencial de fitorremediación de especies de gramíneas en suelos contaminados con cadmio	Polonia	2016	<i>Lolium perenne</i>	El experimento se realizó en macetas con una capacidad de 2 kg de tierra en maceta con tres concentraciones de suelo 30.1, 62.7 y 124 mg/kg ⁻¹ .	2 meses	30,1 mg/kg ⁻¹ TF=0.02 BCF = 2.7	Los resultados mostraron que la especie <i>Lolium perenne</i> en concentraciones de 30,1 mg/kg ⁻¹ tuvo mayor acumulación de cadmio en la raíces de las plantas.	Golda y Korzeniowska (2016)
Estudio preliminar sobre las características de acumulación de Cd en <i>Sansevieria trifasciata</i> Prain	China	2020	<i>S. trifasciata</i> , <i>S. trifasciata laurentii</i> y <i>S. trifasciata hahnii</i> <i>plateado</i>	El experimento se realizó en macetas, se cultivaron en suelos libres de Cd y en suelos con concentración de 50 mg/kg ⁻¹ .	4 meses	50 mg/kg ⁻¹ BCF=12.53, 11.43 y 5.45 TF =0.10, 0.12 y 0.22	Este resultado indica que las tres <i>S. trifasciata</i> , <i>laurentii</i> y <i>S. trifasciata</i> , cultivadas tienen niveles TF <1 lo que significa que no transfiere el metal a las partes aéreas. Puede ser utilizado como un potencial en procesos de fitoestabilización.	Li y Yang (2020)

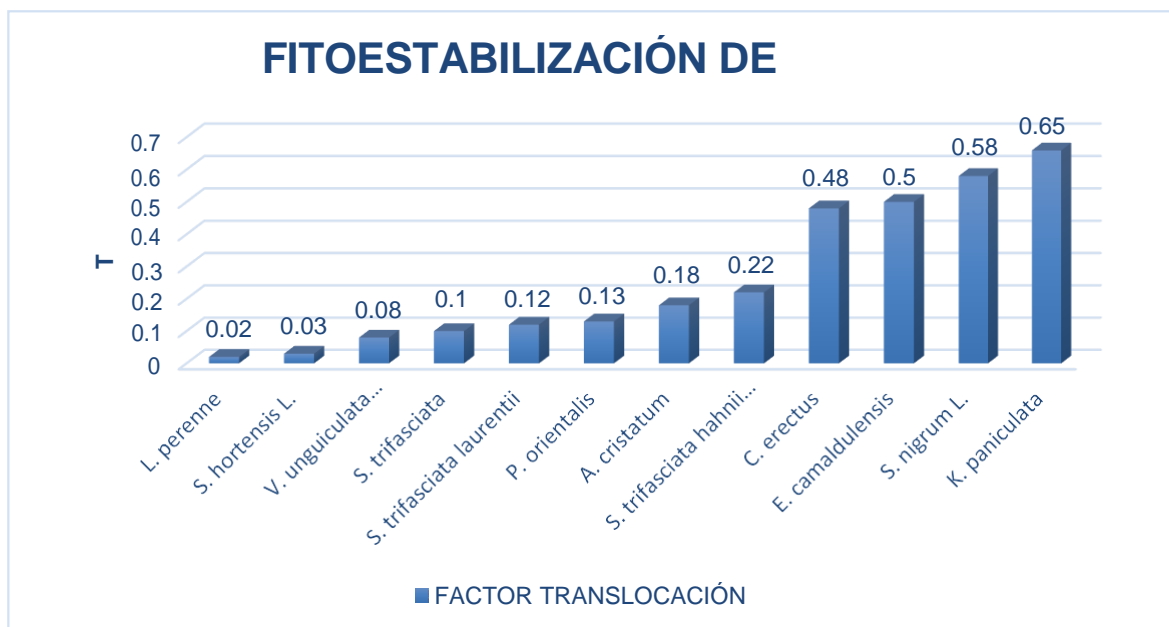
ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	PAÍS	AÑO	ESPECIE	CONDICIÓN DEL ESTUDIO	TIEMPO	FACTORES BIOLÓGICOS	RESULTADO	REFERENCIA
Potencial de fitoestabilización del frijol largo de yarda en remoción Cadmio del suelo.	Malasia	2014	<i>Vigna unguiculata subsp. Sesquipedalis</i>	Se cultivó en macetas en condiciones de laboratorio, con tres concentraciones diferentes (0.5, 1 y 2 mM) de cadmio.	60 días	0.5mM FT = 0.08 mg/L ⁻¹ BCF = 3.8 mgL ⁻¹	El resultado indicó que el valor de TF para todos los tratamientos fue menor a 1. La baja translocación de raíz a brote de Cd hace que el cultivo sea ideal para la fitoestabilización.	Deivanai y Thulasyammal (2014)
Una evaluación de la tolerancia de <i>Agropyron cristatum</i> al suelo contaminado con cadmio.	China	2014	<i>Agropyron cristatum</i>	El experimento se realizó en macetas en un invernadero para evaluar la tolerancia de la planta <i>Agropyron cristatum</i> al cadmio en suelos contaminados con concentraciones (0, 5, 10, 25, 50, 100, 150 y 200 mg/kg ⁻¹).	100 días	200 mg/kg ⁻¹ FT=0.18 BCF=2.23	Los resultados indicaron que la planta <i>A. cristatum</i> en concentraciones de 200 mg/kg ⁻¹ de Cd logro acumular mejor el contaminante en las raíces y sólo una pequeña cantidad fue transportada a la parte aérea.	Guo et al., (2014)
La acumulación de cadmio y sus efectos sobre los caracteres fisiológicos y bioquímicos de la ajedrea (<i>Satureja hortensis</i> L.).	Irán	2019	<i>Satureja hortensis</i> L.	Las semillas se sembraron en macetas de plástico de 90 mm de diámetro llenas de perlita, se trataron plantas durante 45 días con cuatro concentraciones diferentes de Cd (0, 2.5, 5, 15 mg/L ⁻¹).	14 días	15 mg/L ⁻¹ FT=0.03 BCF=418.2	Después de 14 días de exposición de <i>S. hortensis</i> en concentración de 15 mg/L ⁻¹ , acumulo una gran cantidad de Cd en la raíz siendo una herramienta factible con fines de fitoestabilización.	Azizollahi, Majid, y Akbar (2019)

Fuente: Elaboración propia

En función al análisis de datos obtenidos se determinó los factores biológicos se lograron identificar las principales especies con mayor potencial fitoestabilizador de Cadmio para la recuperación del suelo.

FACTOR TRANSLOCACIÓN

Figura 3: Factor Translocación de las especies fitoestabilizadoras.

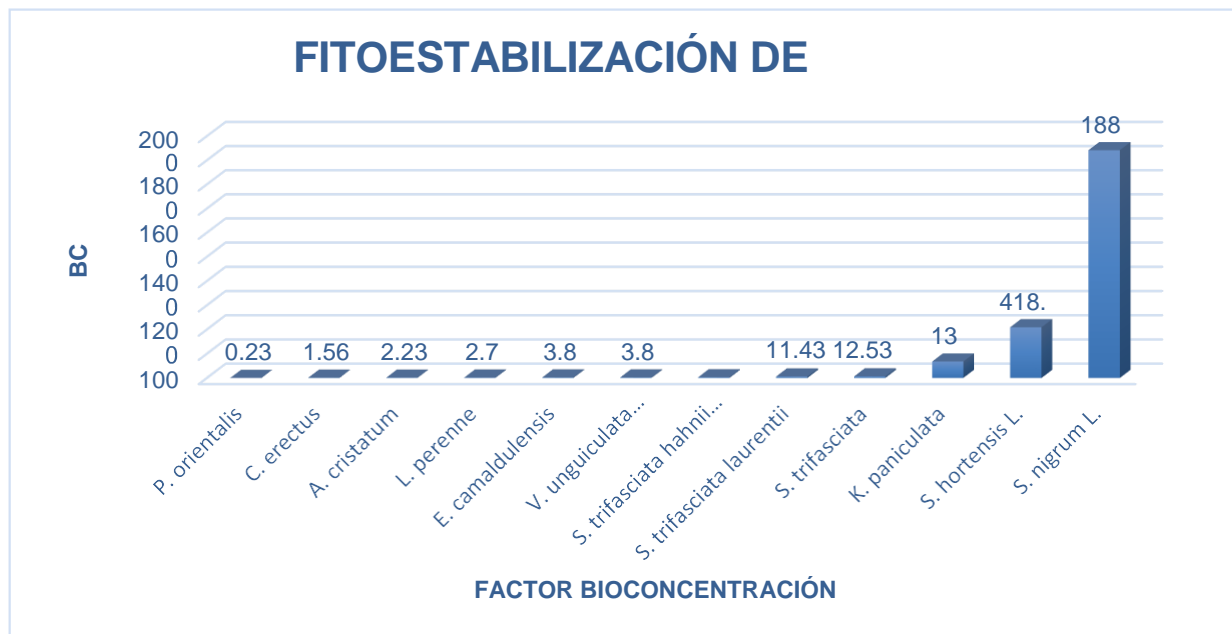


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se muestra el Factor Translocación de las diversas especies de plantas. Según los datos estadísticos la transferencia de metales desde las raíces a las partes aéreas, se determinó en base al valor del TF menor a 1, lo que indica una eficiente translocación tal como lo afirma Golda y Korzeniowska (2016, p. 2), esto muestra que las plantas mencionadas son fitoestabilizadoras ya que obtuvieron valores de 0.02 a 0.659 mg/kg^{-1} impidiendo que los metales se trasladen de la raíz a la parte aérea, depositándose la mayor concentración de Cd en las raíces.

FACTOR BIOCONCENTRACIÓN

Figura 4: Factor Bioconcentración de las especies fitoestabilizadoras.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se muestra el Factor Bioconcentración (BCF) de las diversas especies de plantas. Según los datos estadísticos, el BCF muestra resultados de la cantidad de Cadmio acumulado en las raíces de las plantas encontrándose valores entre 0.23 y 1883 mg/kg⁻¹ el cual se calcula mediante la relación entre el contaminante presente en las raíces de las plantas y la concentración en el suelo, tal como lo manifiesta Falcón (2017, p. 18).

Zeng, P. et al., (2018) en su estudio en macetas empleo la especie arbórea *Platycladus orientalis* en la fitoestabilización de un suelo contaminado con Cd en concentraciones de 9,6 mg/ kg⁻¹, es así como obtuvo el FT= 0.13 mg/kg⁻¹ y BCF=0.23mg/ kg⁻¹, siendo capaz de mantener bajas concentraciones en su biomasa aérea, evitando así su dispersión conforme lo ratifica (González, 2016, p. 48).

Ashraf et al. (2018) realizó una prueba experimental en macetas con el cultivo de la plántula de especie arbórea *Conocarpus erectus* en concentraciones de 10 µM de Cd en el suelo, mostró una baja translocación de TF=0,48 mg/kg⁻¹ y BCF= 1.56 mg/kg-1. La planta no se vio afectada en su crecimiento por lo que se considera óptima para el proceso de fitoestabilización en concentración de 10 µM de Cd.

Guo et al., (2014) en su ensayo experimental de invernadero realizó cultivos en macetas con la especie herbácea *Agropyron cristatum* para determinar la tolerancia en concentraciones de 200 mg/ kg^{-1} de Cd en el suelo, donde se obtuvieron $\text{FT}=0.18 \text{ mg/ kg}^{-1}$ y $\text{BCF} = 418.2 \text{ mg/ kg}^{-1}$, donde se obtuvieron la mayor capacidad de acumular el metal en la parte de las raíces.

Gołda y Korzeniowska, (2016) en su investigación llevó a cabo el cultivo de la especie herbácea *Lolium perenne* en concentraciones de 30.1 mg/ kg^{-1} alcanzando el FT de 0.02 mg/ kg^{-1} y $\text{BCF} = 2.7 \text{ mg/ kg}^{-1}$ lo que evidencia su gran potencial fitoestabilizador.

Como Meeinkuirt et al. (2016), realizaron el experimento de cultivo con la especie arbórea *Eucalyptus camaldulensis* en concentraciones de $19,6 \text{ mg/kg}$ obteniendo valores de $\text{FT} = 0.5 \text{ mg/kg}$ y $\text{BCF} = 3.8 \text{ mg/kg}$.

Asimismo, Deivanai y Thulasyammal (2014) en su ensayo experimental del cultivo de la especie herbácea *Vinga unguiculata subsp. Sesquipetalis* en macetas, obtuvo una eficaz inmovilización en concentración de 80 mg/ kg^{-1} de cadmio en el suelo, en vista de que se obtuvo resultados de $\text{FT}= 0.58 \text{ mg/ kg}^{-1}$ $\text{BCF}= 1883 \text{ mg/kg}^{-1}$ mostrando una alta acumulación en las raíces.

Li y Yang (2020), emplearon tres especies de plantas herbáceas *Satureja hortensis* L, *S. trifasciata laurentii* y *S. trifasciata hahnii* plateado, cultivadas en suelos contaminado con concentraciones de 50 mg/kg^{-1} logrando una FT de (0.10, 0.12 y 0.22 mg/ kg^{-1}) y BCF de (12.53, 11.43 Y 5.45 mg/ kg^{-1}), esto muestra que las tres plantas son efectivos en la fitoestabilización de Cd en vista de que no trasladan los metales a las partes aéreas.

De la misma manera en la prueba experimental de Yang, L. et al., (2018) se demostró que con la especie arbórea *Koeleria paniculata* en concentraciones de $150 \text{ }\mu\text{M}$ de Cd, no perjudicó el crecimiento de la planta obteniéndose el $\text{FT}= 0,659 \text{ mg/kg}^{-1}$ y $\text{BCF} = 0.659 \text{ mg/kg}^{-1}$.

Azizollahi, Majid y Akbar (2019), cultivaron la especie herbácea *Satureja hortensis* L. en suelos con concentraciones de 15 mg/L⁻¹ se logró una mejor absorción y acumulación obteniendo como resultado la FT = 0.03 mg/L⁻¹ y BCF = 418.2 mg/L⁻¹ en las raíces, por precipitación en la zona de la rizósfera (Zornoza, 2017).

Rahim et al. (2014), cultivaron la especie herbácea *Solanum nigrum* L. en macetas con arena seca en concentraciones de 80 mg/kg⁻¹ logrando una menor translocación en concentraciones mayores de Cadmio ya que el FT= 0.58 mg/kg⁻¹ y el BCF= 1883 mg/kg⁻¹.

Para mitigar los efectos tóxicos, las plantas producen antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos (Rahim, 2014, p.2). Debido a la alta movilidad en el sistema suelo-planta, el Cd puede ser absorbido por las células de la raíz de la planta a través del gradiente de potencial electroquímico de la membrana plasmática a través de otras vías de absorción de nutrientes como el hierro (Fe), zinc (Zn) y calcio (Ca) (Azizollahi et al., 2018, p. 2). La fitoestabilización utiliza el sistema radicular para estabilizar y retener los metales (Phusantisampan, 2016, p. 2). Es por ello que, la acumulación de metales pesados en algunos cultivos impide el crecimiento de las plantas, la biomasa, el rendimiento de granos y la calidad de los cultivos (Saran, 2019, p.2).

Se describe las enmiendas orgánicas que se incorporan en la fitoestabilización de Cadmio con el objetivo de mejorar las características físicas del suelo y aportar nutrientes a las plantas.

Tabla 5: Enmiendas orgánicas empleadas para mejorar la inmovilización del cadmio en la fitoestabilización asistida para la recuperación de suelo.

ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	ENMIENDA	PARAMETRO FÍSICOS Y QUÍMICOS	APLICACIÓN DE LAS ENMIENDAS EN LA INMOVILIZACIÓN	REFERENCIA
Aplicación de biocarbón para mejorar la fitoestabilización de cadmio y zinc en <i>Vigna radiata</i> L. Cultivo.	Biocarbón de tallo de Yuca (especie <i>Vigna radiata</i> L.)	CIC = 93,57 cm/kg ⁻¹ C = 66,7 ± 0,12% H = 2,78 ± 0,16% N = 0,22 ± 0,08%	La aplicación de biocarbón aumentó significativamente la concentración de Cd en las raíces con todas las concentraciones aplicadas en comparación con el tratamiento de control sin aplicación de biocarbón.	Prapagdee et al. (2014)
Inmovilización y biodisponibilidad de metales pesados en suelos de invernadero modificados con biocarbón derivado de paja de arroz	Biocarbón de la paja de arroz (especie <i>Oryza sativa</i>)	pH = 9.5 EC = 3.36 d/Sm ⁻¹ CO = 29,3 g/Kg ⁻¹ N = 1,83% P = 1,43% K = 18,9% Cd = <0,005 mg/kg ⁻¹	La tasa de inmovilización de Cd en el suelo aumentó con la cantidad de biocarbón aplicada, lo que implica que la aplicación de biocarbón podría inmovilizar el Cd en el suelo del invernadero.	Zhang et al. (2016)
La aplicación de biocarbón de madera en suelos contaminados estabilizó los metales tóxicos y mejoró el crecimiento del trigo (<i>Triticum aestivum</i>) y la actividad enzimática del suelo.	Biocarbón de madera	pH= 8.53 EC (μS cm ⁻¹) = 1855 N total (g/kg ⁻¹) = 4.45 Fósforo total (g/kg ⁻¹) = 0.25	Se demostró la eficiencia del biocarbón de madera debido a que redujo la movilidad de los contaminantes en el sistema de la planta y mejoro la producción de biomasa	Ali, et al., (2019)
Uso de biocarbón de bambú con compost para la estabilización y reducción de la fitotoxicidad de metales pesados en suelos contaminados por minas de China.	Biocarbón de bambú (especie <i>Phyllostachys edulis</i>)	pH= 8.86 EC= 537.36	La disponibilidad del Cadmio disminuyó significativamente (p <0.05). La incorporación del biocarbón de bambú modificó los valores de la CE y el pH lo cual favoreció en la inmovilización del Cadmio.	Ali, et al., (2017)

ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	ENMIENDA	PARAMETRO FÍSICOS Y QUÍMICOS	APLICACIÓN DE LAS ENMIENDAS EN LA INMOVILIZACIÓN	REFERENCIA
Efecto del abono y el biocarbón en la fitoestabilización de metales pesados por la planta halofítica Old Man Saltbush (<i>Atriplex Nummularia Lindl</i>)	Biocarbón de estiércol de ganado + paja de maíz molido	Biocarbón pH = 9.11 CE = 5,2 dS/m-1 N = 5,0 % P = 2.1 % K = 15 %	Biocarbón redujo las concentraciones de Cd en los brotes a la biomasa, siendo una buena herramienta fitoestabilizadora para los metales presentes.	Mamdouh, (2018)
Efectos de la inoculación de micorrizas arbusculares y la enmienda de biocarbón sobre el crecimiento del maíz, la absorción de cadmio y la especiación de cadmio del suelo en suelos contaminados con Cd	Biocarbón de paja de trigo (la especie <i>Triticum</i>).	pH= 10.4 Carbonó (%)= 46.8 N Total (%)= 0.59 K (%)= 2.8 P disponible (mg/kg) =80	La enmienda tuvo un mayor efecto en la inducción de alcalinización del suelo y contribuyó en la inmovilización del cadmio. Además, aumento el crecimiento de la planta.	Liu, et al., (2018)
Aplicación de estiércol de vaca y biocarbón derivado de estiércol de vaca como enmienda del suelo para reducir la disponibilidad y acumulación de cadmio por <i>Brassica chinensis L.</i> en suelo rojo ácido.	Estiércol de vaca (especie <i>Bos taurus</i>) y biocarbón derivado del estiércol de vaca	Biocarbón (estiércol de vaca) pH = 8,4 Cd = 0.001±0.00 mg/kg ⁻¹	La aplicación del biocarbón derivado de estiércol propio de vaca fue significativamente más eficaz que el estiércol de vaca, ya que redujo la disponibilidad inmovilizante del Cd en el suelo.	Kiran et al. (2017)
Los efectos del estiércol de pollo sobre la inmovilización y biodisponibilidad del cadmio en el sistema suelo-arroz	Estiércol de pollo (especie <i>Gallus gallus</i>)	pH= 8.3 ± 0.20 Materia orgánica (%)32 ± 3,18 N total (%)3,1 ± 0,16 P total (%)3,5 ± 0,26 K total (%)3,2 ± 0,19 Cd total (mg kg ⁻¹)0,41 ± 0,02	La enmienda redujo significativamente las concentraciones de Cd en los tejidos de la planta (grano marrón, cáscara y paja). El estiércol de pollo se puede utilizar para reducir significativamente las concentraciones de Cd en el arroz.	Huang et al., (2019)
Enmiendas del suelo para la fitoestabilización de cadmio mediante cinco cultivares de caléndula.	Estiércol de cerdo (especie <i>Sus scrofa</i>)	pH = 8.3 CD = 4.8 dS/m-1 MO = 63.2 % Cd = 2.2 mg/Kg-1	Los cultivos en suelo suplementado con estiércol de cerdo, produjo una mayor biomasa y acumulación de Cd, mejorando el crecimiento de las plantas en suelos contaminados con Cd.	Thongchai et al (2019)

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 muestra las alternativas en el uso de enmiendas orgánicas que favorecen la precipitación e inmovilización de los metales pesado según Domínguez, (2015). Las enmiendas orgánicas forman un recubrimiento sobre una materia articulada especialmente en las capas superficiales y sub superficiales del suelo que incrementa la biomasa de las plantas en suelos contaminados con Cadmio (Huaraca et al., 2020, p. 143)

A través de la revisión sistemática se identificó el uso de alternativas para un mejor manejo de la fitoestabilización, siendo las enmiendas orgánicas una opción que favorece la inmovilización de Cd en las raíces y ayuda a mejorar el desarrollo fisiológico y morfológico de las plantas. Cuando se agrega al suelo, puede mejorar la aireación, la capacidad de retención de agua y nutrientes. (Visconti et al., 2020, p. 2).

La materia orgánica aporta gran cantidad de nutrientes esenciales (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) a los suelos agrícolas, lo cual contribuye en la mejora de la fertilidad de los suelos y productividad de los cultivos (Vásquez et al. 2020, p. 2). Los resultados obtenidos muestran el uso de diferentes enmiendas orgánicas como: Biocarbón de tallo de la especie *Vigna radiata* L. (Yuca) (Prapagdee et al., 2014), biocarbón de la especie *Oryza sativa* (paja de arroz) (Zhang et al., 2016), biocarbón de madera (Ali, et al., 2019), biocarbón de la especie *Phyllostachys edulis* (bambú) (Ali, et al., 2017), biocarbón de estiércol de ganado (Mamdouh, 2018), biocarbón de la especie *Triticum* (paja de trigo) (Liu, et al., (2018), estiércol de la especie *Bos taurus* (vaca) (Kiran et al., 2017), estiércol de la especie *Gallus gallus* (pollo) (Huang et al., 2019) y estiércol de la especie *Sus scrofa* (cerdo) (Thongchai et al., 2019), las cuales son muy eficientes para la inmovilización y el crecimiento de la biomasa de las raíces y la parte aérea de la planta.

V. CONCLUSIONES

- Se logró realizar una revisión sistemática de fitoestabilización para la recuperación de suelos contaminados con cadmio, mediante las especies herbáceas y arbóreas. También, el uso de enmiendas orgánicas como una alternativa de inmovilizar el metal en las raíces.
- Se identificaron diez (10) especies herbáceas y cuatro (04) especies arbóreas, siendo buenas candidatas para el proceso de fitoestabilización de recuperación de suelos contaminados con cadmio, dada su capacidad para acumular e inmovilizar altas concentraciones de Cd.
- Se determinó el potencial fitoestabilizador de las plantas para la recuperación en suelos con Cadmio mediante los factores biológicos de Translocación y Bioconcentración para identificar si la especie de planta es fitoestabilizadora y la cantidad de Cd acumulada según la concentración en que fue cultivada.
- El uso de enmiendas orgánicas como excretas de animales y biocarbón mejora el potencial de fitoestabilización de las plantas, según la especie y las propiedades de enmienda. Además, estimula la producción de biomasa, aireación del suelo, capacidad de retención de agua y nutrientes.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la técnica de fitoestabilización natural para la recuperación de suelos contaminados por cadmio por su bajo costo y buena efectividad.
- Para posteriores investigaciones se aconseja profundizar, el uso de enmiendas en los procesos de fitoetabilización de suelos contaminados con metales pesados.
- Se sugiere continuar con estudios de investigación para identificar especies de plantas fitoestabilizadoras de otros metales pesados tales como (Pb, Cr, Cu, Zn) para la recuperación de suelos.
- Para futuras investigaciones se recomienda analizar otras técnicas de fitorremediación, viables y rentables económicamente, para la recuperación de suelos con metales.

REFERENCIAS

1. ABDULWAHABAL, Israa, ROZAIMAH, Siti, ANUAR, Nurina, SUJA, Fatimah, MUSHRIFAH, Idris Phytodegradation of total petroleum hydrocarbon (TPH) in dieselcontaminated water using Scirpus grossus. Ecological Engineering [en línea]. 2015, vol. 74, p. 463- 473 [Fecha de consulta: 10de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857414005783A>
2. ALAN, David y Cortez, Liliana. Procesos y fundamentos de la investigación científica [en línea]. 2018, p. 12 – 109 [Fecha de consulta: 08 de octubre del 2020]. Disponible en : <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>
3. ALI, Amjad, GUO, Di, AROCKIAM, Parimala, LI, Yiman, XIAO, Ran, DU, Juan, LI, Ronghua, ZHANG, Zengqiang. Application of wood biochar in polluted soils stabilized the toxic metals and enhanced wheat (*Triticum aestivum*) growth and soil enzymatic activity [en línea]. 2019, vol. 184, p. 1-9 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319309662>
4. ALI, A., GUO, D., ZHANG, Y., SUN, X., JIANG, S., GUO, Z., HUANG, H., LIANG, W., LI, R. ZHANG, Z. Use of compost bamboo biochar for stabilization and reduction of heavy metal phytotoxicity in mine-contaminated soils in China [en línea]. 2017, vol. 7, n°2690, p. 1-12 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016017604909>
5. ALMAGRO, Lorena, SEGURA, Ana, PEDREÑO, María, BERMAL, María. Tolerancia y acumulación de metales pesados y As en diferentes especies de *Cistus* L. España [en línea]. 2015, p. 143-153 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/47350>
6. ARYA, S., DEVI, S., ANGRISH, R., SINGAL, I. y RANI, K. Recuperación de suelos mediante fitoextracción y fitovolatilización. Volátiles y seguridad alimentaria [en línea]. 2017, p. 25–43 [Fecha de consulta: 10 de agosto del 2020]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5553-9_3
7. ASHRAF, Farah, ABBAS, Ghulam, MURTAZA, Behzad, AMJAD, Muhammad, IMRAN, Muhammad, NAEEM, Muhammad, SAQIB, Muhammad, NIAZI, Nabeel, ZAKIR, Ali, HUSSAIN, Munawar, SHABIR, Rahat. Comparative tolerance and phytostabilization potential of *Conocarpus erectus* and *Eucalyptus camaldulensis* grown in cadmium-contaminated soil. [en línea]. 2018, vol. 55, n° 3, p. 521-529 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: [10.21162/PAKJAS/18.7036](https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.7036)
8. AZIZOLLAHi, Zahra, MAJID, Seyed and AKBAR, Ali. The accumulation of cadmium and its effects on the physiological and biochemical characteristics of the savory (*Satureja hortensis* L.) [en línea]. 2019, p. 1241-1253 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: [10.21162/PAKJAS/18.7036](https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.7036)

consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1619163>

9. BARBOSA, Bruno. y FERNANDO, Ana. Fitoestabilización asistida de residuos mineros. Biogeotecnologías para la rehabilitación de sitios mineros [en línea]. 2018, p. 147- 157 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1619163>
10. BELTRÁN, Mayra, GOMÉZ, Alida. Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revista [en línea]. 2016, vol. 12, p. 172 – 197 [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
11. CALDERÓN, Diana, ZAMUDIO, Adriana. Fitoestabilización de cromo hexavalente por acacia melanoxylon; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados. Bogotá [en línea]. 2019, p. 1-25 [Fecha de consulta: 01 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/8258>
12. CANEDO, Sabrina. Contribución al estudio del aprendizaje de la ciencia experimentales en la educación infantil: Cambio conceptual y construcción de modelos científicos precursores [en línea]. Tesis para optar el grado de doctor en Didáctica de la ciencia experimental. 2009, p. 106 – 140 [Fecha de consulta: 07 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/41436>
13. COVARRUBIAS, Sergio y CABRIALES, Juan. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. México [en línea]. 2017, p.7-21. [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
14. DEIVANAI, S. y THULASYAMMAL, R. Phytostabilization potential of beans length of yard in removal Cadmium from soil [en línea]. 2014, Vol. 10, n°2, p. 275-286 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://cyberleninka.ru/article/n/phytostabilization-potential-of-yard-long-bean-in-removing-cadmium-from-soil/viewer>
15. DOMINGUEZ, María. Fitoestabilización de suelos contaminados España [en línea]. 2015, p. 1 – 7 [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/164373>
16. FABELLO, José. Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados. Cuba [en línea]. 2017, vol. 44 p.53-60. [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n1/caz06117.pdf>
17. FALCON, Johana. Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zean mays L. en la estación experimental El Mantaro – Junín en el año 2016. Tesis para optar el grado académico de: Magister Scientiae en Ingeniería

- Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú [en línea]. 2017, pp. 1 – 58. [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4611>
18. FASSIO, Adriana. Reflexiones acerca de la metodología cualitativa para el estudio de las organizaciones [en línea]. 2018, vol. 6, n°. 12, pp. 2314- 3738 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/67787/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 19. FORTE, Jenna y MUTITI, Samuel. Phytoremediation potential of *Helianthus annuus* and *Hydrangea paniculata* in soils contaminated with copper and lead. *Water, air and soil pollution* [en línea]. 2017, vol. 228, n° 2, p. 1-11 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-017-3249-0>
 20. GOŁDA, Sylwia. y KORZENIOWSKA, Jolanta. Comparison of the phytoremediation potential of grass species in soils contaminated with cadmium [en línea]. 2016, vol. 27, n° 1, p. 8-14 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://content.sciendo.com/view/journals/oszn/27/1/article-p8.xml>
 21. GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M.C.A.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, A.S. Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitorremediación de suelos. *Agroproductividad* [en línea]. 2017, vol. 10, n°4, p. 3-7 [Fecha de consulta: 04 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/987>
 22. GONZÁLEZ, María. Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona [en línea]. 2016, pp. 4 – 333. [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/404215>
 23. GONZÁLEZ, Manuel. Ética y formación universitaria. Aspectos éticos de la investigación cualitativa [en línea]. 2002, n°. 29 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://rieoei.org/historico/documentos/rie29a04.htm#:~:text=Para%20que%20una%20investigaci%C3%B3n%20sea,que%20pueda%20abrir%20oportunidades%20de>
 24. GUBA EG, LINCOLN YS. Controversias paradigmáticas, contradicciones y confluencias emergentes. En: Denzin NK, Lincoln YS, editors. *Manual de investigación cualitativa, paradigmas y perspectivas en disputa*. Barcelona [en línea]. 2012, Vol. 2, p. 38-78 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/57151147/Controversias-paradigm%C3%A1ticas-contradicciones-y-confluencias-emergentesdocx/>
 25. GUO, Q., MENG, L., MAO, P., TIAN, T. An assessment of the tolerance of *Agropyron cristatum* to cadmium-contaminated soil [en línea]. 2014, p.174-178

[Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10535-013-0359-4>

26. HERNÁNDEZ, Fernando. Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de Alfalfa Medicago sativa irrigada con aguas residuales. Tesis para obtener Título de Ingeniero en Procesos Ambientales [en línea]. 2014, p. 1-37 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1)
27. HERRERA, Jose, GUEVARA, Geycell y MUNSTER, Harold. Strategies and designing for quality studies a methodological-theoretical approach [en línea]. 2015, vol. 17, n°. 2, p. 1 – 14 [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/gme/v17n2/GME13215.pdf>
28. HIRZEL, Juan y SALAZAR, Francisco (2016). Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Instituto de aplicaciones agrarias Chillán [en línea]. 2016, p. 1 - 58 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/31837/INIA_Libro_0055.pdf?sequence=1&isAllowed=y
29. HOSSAIN, M., SULTANA, F y ISLAM, S. Plant growth promoting fungi (PGPF): phytostimulation and induced systemic resistance. Plant-microbe interactions in agroecological perspectives [en línea]. 2017, p. 135-191 473 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-6593-4_6
30. HUANG, Qingqing, WAN, Yanan, LUO, Zhang, QIAO, Yuhui, SU, Dechun. y LI, Huafen. The effects of chicken manure on the immobilization and bioavailability of cadmium in the soil-rice system [en línea]. 2019, vol. 66, n° 13, p. 1-13 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1694146>
31. HUARACA, Jhon, PEREZ, Lourdes, BUSTINZA, Leonor y PAMPA, Noe. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados [en línea]. 2020, vol. 31, n. 4, p. 139 – 152 [Fecha de consulta: 03 de noviembre del 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000400139
32. HUESO-GONZÁLEZ, P., MUÑOZ-ROJAS, M. Y MARTÍNEZ-MURILLO, JF (2018). El papel de las enmiendas orgánicas en la restauración de las tierras secas. Opinión actual en ciencias ambientales y salud [en línea]. 2018, vol. 5, p. 1–17. [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584417300405>
33. JESÚS, J.M., DANKO, A.S., FIÚZA, A. and BORGES, M. Phytoremediation of soils affected by salts: a review of the processes, applicability and impact of

- climate change. Research in environmental science and pollution en línea]. 2015, vol. 22, n°. 9. pp. 6511-6525 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4205-4>
34. JIANG, Y., JIANG, S., LI, Z., YAN, X., QIN, Z. y HUANG, R. Field-scale remediation of rice soil contaminated with Cd and Pb using three cultivars of mulberry (*Morus alba* L.). Ecological engineering, [en línea]. 2019, vol.129, p. 38–44 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857419300229>
 35. KHAN, AR, ULLAH, I., KHAN, AL et al. Phytostabilization and physicochemical responses of the Korean ecotype *Solanum nigrum* L. to cadmium contamination, water, air, soil [en línea]. 2014, vol. 225, n° 2147, p. 1-11 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-014-2147-y>
 36. KIRAN, YK, BARKAT, A., CUI, X., FENG, Y., PAN, F., TANG, L. Y YANG, X. Application of cow manure and biochar derived from cow manure as a soil amendment to reduce the availability and accumulation of cadmium by *Brassica chinensis* L. in acid red soil [en línea]. 2017, vol. 16, n° 3, p. 725-734 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311916614880>
 37. Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S. y Wang, Y. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on corn growth, cadmium uptake and cadmium speciation from soil in Cd contaminated soils [en línea]. 2018, vol. 194, p. 495- 503 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517319860>
 38. LI, Xiong and YANG, Yongping. Preliminary study on Cd accumulation characteristics in *Sansevieria trifasciata* Prain. [en línea]. 2020, vol. 42, n°5, p. 351-355 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246826592030038X>
 39. LIU, Yan, CHEN, Mingmao, JIANG, Longguang y SONG, Ling. New insight into molecular interaction of heavy metal pollutant—cadmium(II) with human serum albumin [en línea]. 2014, vol. 24 n°. 11, p. 6994 – 7005 [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-2610-8#citeas>
 40. LONDOÑO, Luis; LONDOÑO, Paula y MUÑOZ, Fabián. RISK OF HEAVY METALS IN HUMAN AND ANIMAL HEALTH [en línea]. 2016, vol. 14, n°. 2, p. 145-153 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169235612016000200017&script=sci_abstract&tlng=pt
 41. LOZADA, José. Investigación aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria [en línea]. 2014, vol. 3, n°. 1, pp. 47-50 [Fecha de consulta: 25 de septiembre del 2020]. Disponible:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Investigaci%C3%B3n-Aplicada%3A-Definici%C3%B3n%2C-Propiedad-e-Lozada/a097f61a0fb255a30528ad830eaf985a4e7b354f>

42. MA, Yin, RAJKUMAR, Mani, ZHANG, Chang y FREITAS, Helena. Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *Environmental management magazine* [en línea]. 2016, vol. 174, p. 14-25 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300883>
43. MA, Chongjian, MING, Hui, LIN, Changhua, NAIDU, Ravi y BOLAN, Nanthi. Phytoextraction of heavy metals from tailings waste using Napier grass. [en línea]. 2016, vol. 136, p. 74–83 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816215300837>
44. MAMDOUH, Eissa. Effect of compost and biochar on the phytostabilization of heavy metals by the halophytic plant Old Man Saltbush (*Atriplex Nummularia Lindl*) [en línea]. 2018, vol. 28, n° 2, p. 1-14 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15320383.2018.1551325>
45. MARÍN, Angie, HERNÁNDEZ, Elybe, FLORES, Jesús. Metodología para el análisis de datos cualitativos en investigaciones orientadas al aprovechamiento de fuentes renovables de energía [en línea]. 2016, vol. 1, n° 1, p.1- 17 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327755153_METODOLOGIA_PARA_EL_ANALISIS_DE_DATOS_CUALITATIVOS_EN_INVESTIGACIONES_ORIENTADAS_AL_APROVECHAMIENTO_DE_FUENTES_RENOVABLES_DE_ENERGIA
46. MARTÍN, Helena. El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental [en línea]. 2015 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.massscience.com/2015/05/19/el-potencial-de-la-fitorremediacion-como-tecnologia-medioambiental/>
47. MARTÍNEZ, Silvia. Influencia de la fitoestabilización asistida sobre la fertilidad y movilidad de Pb-Zn en un depósito minero del sureste español. Universidad Politécnica de Cartagena [en línea]. 2014, p. 1-16 151 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711939.pdf>
48. MARTÍNEZ, L. y VARGAS, Y. Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña, municipio de Sibaté-Cundinamarca. Retrieved from [en línea]. 2017, P. 1-91 [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2020] Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1387&context=ing ambiental_sanitaria

49. MARQUEZ, Julia; VALDÉS, Arcadio; GARCIA, Celestino; RODRIGUEZ, Humberto; GAMBOA, Julian y LUNA, Hugo. Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (*Nasturtium officinale*) en un humedal artificial. Mexico [en línea]. 2020, vol. 22, n°. 2, pp. 171-178. [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-14562020000200171&lng=es&nrm=iso
50. MEEINKUIRTA, W., KRUATRACHUEB, M., PICHTELC, J., PHUSANTISAMPAND, T., SAENGWILAI, P. Influence of organic amendments on phytostabilization of Cd-contaminated soil by *Eucalyptus camaldulensis* [en línea]. 2016, vol. 42, p. 83-91 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://www.scienceasia.org/content/viewabstract.php?ms=6698>
51. MENDIETA, Carla y TAISIGÜE, Katerine. Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación [en línea]. 2014, p. 1 – 12 [Fecha de consulta: 03 de octubre del 2020]. Disponible en: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf
52. MUNIVE, Rubén; LOLI, Oscar; AZABACHE, Andrés y GAMARRA, Gilberto. Phytoremediation with corn (*Zea mays* L.) and Stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals [en línea]. 2018, vol. 9, n°. 4, p. 551 – 560 [Fecha de consulta: 7 de octubre del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000400011&lang=es
53. MUÑOZ, LN; NEVÁREZ, G., BALLINAS, M. & PERALTA, M. Fitorremediación Como Una Alternativa Para el Tratamiento de Suelos Contaminados. Toctli - Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica [en línea] (2010), p. 1-9 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://www3.uacj.mx/ICB/redcib/Toctli/Documents/Volumenes%20Anteriores/Fitorremediación%20como%20una%20alternativa%20para%20el%20tratamiento%20de%20suelos%20contaminados.pdf>
54. OGOSI, Simón. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando *Brassica campestris* L. en la Estación Experimental El Mantaro-Junín. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional del Centro del Perú [en línea]. 2018, p. 1-94 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5289>
55. ORTEGA, Gabriel. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación [en línea]. 2017, vol. 8, n°. 2, pp. 155-156 [Fecha de consulta: 25 de septiembre del 2020]. Disponible: http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v8n2/v8n2_a08.pdf

56. PAVEL, Petronila, PUSCHENREITER, Markus, WENZEL, Walter, DIACU, Elena y BARBU, Horia. Fitoestabilización asistida utilizando *Miscanthus sinensis* x *giganteus* en suelos contaminados con metales pesados [en línea]. 2014, p. 125-131 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419306959?via%3Dihub>
57. PENG, Lan, ZHU, Jian, WANG, Ping, ZENG, Jing, TAN, Rong, ZHONG, Yu y MING, Zhi. Effect of Cd on growth, physiological response, Cd subcellular distribution and chemical forms of *Koeleria paniculata* [en línea]. 2018, vol. 160, p. 10 – 18 [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318304020>
58. PÉREZ, María. Un abordaje teórico de la investigación cualitativa como enfoque metodológico [en línea]. 2018, vol. 12, n°. 30, pp. 227-233 [Fecha de consulta: 25 de septiembre del 2020] Disponible: <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/5201/2603>
59. PÉREZ, Edgar. Acumulación de metales pesados en plantas nativas en los relaves de los pasivos ambientales de la Mina CERCAPUQUIO S.A., Chongos Alto, Chupaca. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional del Centro del Perú [en línea]. 2015, p. 1-69 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4581/Perez%20J..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
60. PÉREZ, Perla y AZCONA, María. Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas [en línea]. 2012, vol. 17, n°8, p. 199-205 [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2012/rmq123i.pdf>
61. PERNIA, Beatriz; et.al. Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador [en línea]. 2016, vol. 10, n°. 2, p. 38. [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321418435_Aquatic_plants_with_potential_for_phytoextraction_of_Cadmium_in_rice_fields_of_Daule_Parish_Province_of_Guayas_Ecuador
62. PÉREZ-PORTUONDO, Irasema, MERIÑO-REYES, Lidieska, PÉREZ-SILVA, Rosa M., ABALOS-RODRÍGUEZ, Arelis, WEYENS, Nele, & CUYERS, Ann. Plantas herbáceas de ambientes contaminados como fuentes de bacterias degradadoras y promotoras del crecimiento vegetal. Cultivos Tropicales [en línea]. 2019, vol 40, n° 2, p. 1- 35. [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000200001&lng=es&tlng=es
63. PHUSANTISAMPAN, T., MEEINKUIRT, W., SAENGWILAI, P., PICHTEL, J.Y CHAIYARAT, R. Phytostabilization potential of two ecotypes of *Vetiveria*

- zizanioides in cadmium-contaminated soils: greenhouse and field experiments [en línea]. 2016, vol. 23, p. 20027–20038 [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2020]. Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-7229-5>
64. PIZARRO, Roberto, FLORES, Juan, TAPIA, Jaime, VALDÉS, Rodrigo, González, David, MORALES, Carolina, SANGUESA, Claudia, BALOCCHI, Francico, LÉON, Lastenia. . Especies forestales en la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a la actividad minera. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente [en línea]. 2015, vol. 22 (1), p. 29-43. [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en:http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182016000100029&lang=es
 65. PRAPAGDEE, Songkrit, PIYATIRATITIVORAKUL, Somkiat, PETSOM, Amorn, TAWINTEUNG, Nukoon. Biochar application to improve the phytostabilization of cadmium and zinc in *Vigna radiata* L. Crop. [en línea]. 2014, n° 2233, p. 1-13 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-014-2233-1>
 66. RADZIEMSKA, Maja. Estudio de la aplicación de sorbentes minerales naturales de Polonia (halloysita de dolomita, calcedonita) para la fitoestabilización asistida de suelos contaminados con metales pesados [en línea]. 2018, vol. 163, p. 123-129 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816217304113>
 67. RAHIM, A., ULLAH, I., LATIF, A., HONG, S., WAQAS, M., PARK, G., KWAK, Y., CHOI, J., JUNG, B., PARK, M., LEE, I. Y SHIN, J. Phytostabilization and Physicochemical Responses of Korean Ecotype *Solanum nigrum* L. to Cadmium Contamination [en línea]. 2014, vol. 225, n°. 10, p. 1 – 11 [Fecha de consulta: 25 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-014-2147-y>
 68. REYES, Yulieth, VERGARA, Inés, TORRES, Omar, MERCEDES Díaz, González. Contaminación por metales pesados. Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria [en línea]. 2016, vol.1 6, n°2, p. 66-77. [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
 69. RIFFO, Carol. Transferencia de metales pesados Cu, Pb, Zn, Ni, Co y Cr desde un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas *Salicornia* y *Lolium Perenne*. Para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción [en línea]. 2016, P. 1 – 117 [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en:
<http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/1020/Carol%20Riffo%20Estay.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 70. ROJAS, Xiomara y OSORIO, Belkis. Criterios de calidad y rigor en la metodología cualitativa. Venezuela [en línea]. 2017, p. 62-74 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en:

71. SÁNCHEZ, Hugo; REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. Universidad Ricardo Palma. 2018, p. 15 – 133 [Fecha de consulta: 08 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480?show=full>
72. SARAN, A., FERNANDEZ, L., CORA, F., SAVIO, M., THIJS, S., VANGRONSVELD, J. Y MERINI, L.J. Phytostabilization of Pb and Cd polluted soils using *Helianthus petiolaris* as pioneer aromatic plant species [en línea]. 2019, p. 1-9 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1675140>
73. SHANMUGARAJ, Bala, MALLA, Ashwini y RAMALINGAM Sathishkumar. Cadmium Stress and Toxicity in Plants: An Overview [en línea]. 2019, p. 1 – 17 [Fecha de consulta: 20 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148648000012>
74. SUÁREZ, Susana y MOLINA, Enrique. El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana [en línea]. 2014, vol. 52, n.º 3, p. 357-363. [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig08314.pdf>
75. SYLVAIN, B., MIKAEL, M.-H., FLORIE, M., EMMANUEL, J., MARILYNE, S., SYLVAIN, B. y DOMENICO, M.. Fitoestabilización de As, Sb y Pb por dos especies de sauce (*S. viminalis* y *S. purpurea*) en tecnosoles de antiguas minas. CATENA, [en línea]. 2016 vol. 136, p. 44-52 [Fecha de consulta: 26 de setiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816215300631>
76. TIWARI, Jaya, ANKIT, Sweta, KUMAR, Sanjeev, KORSTAD, John y BAUDDH, Kuldeep. Restauración ecológica de ecosistemas acuáticos contaminados mediante rizofiltración. Fitomangement de sitios contaminados [en línea]. 2019, p. 179–201 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139127000053>
77. THONGCHAI, Alapha, MEEINKUIRT, Weeradej, TAEPRAYOON, Puntaree and PICHTEL, John. Soil amendments for cadmium phytostabilization by five marigold cultivars [en línea]. 2019, vol. 26, nº 8737, p. 1-11 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04233-y>
78. VARELA, Margarita y VIVES, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. Investigación En Educación Médica [en línea]. 2016, p. 191-198 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2007505716300072>

79. VÁZQUEZ, Jacinto, ALVAREZ, Manuel, IGLESIAS, Sergio, CASTILLO, Jorge. La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos [en línea]. 2020, vol. 11, n°1 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n1/2077-9917-agro-11-01-00105.pdf>

80. VISCONTI, Donato, ÁLVAREZ, María José, FIORENTINO, Nunzio, FAGNANO, Massimo y CLEMENTE, Rafael. Use of Brassica juncea and Dactylis glomerata for the phytostabilization of mine soils amended with compost or biochar [en línea]. 2020, vol. 260, p. 1 – 12 [Fecha de consulta: 22 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520318567>

81. YANG, LP, ZHU, J., WANG, P., ZENG, J., TAN, R., YANG, Y., LIU, Z.. Effect of Cd on growth, physiological response, subcellular distribution of Cd and the chemical forms of Koeleria paniculata. Ecotoxicology and safety [en línea]. 2018, vol. 160, p.10-18 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318304020>

82. ZENG, Peng, GUO, Zhaohui, CAO, XIAO, Xiyuan, LIU, Yanan. Y SHI, Lei. Phytostabilization potential of ornamental plants grown in soil contaminated with cadmium [en línea]. 2017, vol. 20, n°. 4, p. 311–320 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1381939>

83. ZENG, Peng, GUO, Zhaohui, XIAO, Xiyuan, CAO, Xia y PENG, Chi. Response to the cadmium potential and phytostabilization of Platycladus orientalis in contaminated soils, International Journal of Phytoremediation [en línea]. 2018, vol.20, n°13, p.1337-1345, [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1501338>

84. ZHANG, R.-H., LI, Z.-G., LIU, X.-D., WANG, B., ZHOU, G.-L., HUANG, X.-X et al. Immobilization and bioavailability of heavy metals in greenhouse soils modified with biochar derived from rice straw. Ecological engineering [en línea]. 2017, vol. 98, p.183–188 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416305857>

85. ZORNOZA, R., FAZ, Á., MARTÍNEZ, S., ACOSTA, J.A., GÓMEZ, M.D., MUÑOZ, M.Á., SÁNCHEZ R., MURCIA, F. J., FERNÁNDEZ CORTÉS, F. J., LÓPEZ, E., ESPÍN DE GEA, A. Rehabilitación de una presa de residuos mineros mediante la aplicación de lodo de mármol y purín de cerdo para el desarrollo de una fitoestabilización asistida [en línea]. 2017, vol. 128, n° 2, p. 421-435 151 [Fecha de consulta: 10 de septiembre del 2020]. Disponible en: http://revistas.igme.es/Boletin/2017/128_2/BGM_128-2_Art-10.pdf